

平成 19 年度研究チーム活動中間報告（第 2 回目）

「痛みの情報処理過程における鍼鎮痛の作用機序- 多チャンネル脳波計による責任部位の同定-

No.104 研究幹事 前田 多章（知能情報学部）

①研究の背景と目的

多くの疾患やその治療において、痛みの抑制は重要である。痛みの抑制には、鎮痛薬を用いた薬物投与、神経ブロック療法およびレーザーによる物理的鎮痛療法と並び漢方薬や鍼による東洋医学療法が用いられる。なかでも鍼による鎮痛は鍼鎮痛としてその効果とともに副作用の少ない点が評価され、臨床応用が行われている。

当該研究では、鎮痛効果を誘発する最適経穴および当該経穴刺激により誘発される鎮痛作用の発現部位を調査するとともに、最適刺激条件を調査する。続いて、得られた最適条件下で、鎮痛作用時の体性感覚強刺激（鎮痛作用がない場合に痛覚となる刺激強度）により誘発される脳電位を計測しその発生源を推定することにより、鎮痛効果の作用部位を同定し、鎮痛機序を明らかにすることを目的とする。

②2008 年 4 月～12 月に実施した研究の内容および結果

2007 年度は、鍼鎮痛で用いる経穴を対象に、経皮的電気刺激により優位に鎮痛効果が起こる作用部位を心理物理学的手法を用いて調べた。採用した経穴は、合谷であり、痛覚刺激部位として上唇挙筋を経皮的に電気刺激した。また、痛覚刺激により誘発された脳電位（鎮痛作用が有る時と作用していない時）を多チャンネル脳波計により記録し、MR 画像とマッピングし比較検討した。この結果、鎮痛作用に由来すると考えられる脳活動を観察した。2008 年度は、2007 年度実験の問題点を洗い出し、実験パラダイムの最適化を進めるとともに、鎮痛作用由来の脳活動を明らかにすることを試みた。

I. 対象

21～23 歳の健常成人 6 名（男性 4 名、女性 2 名）を対象とした。被験者には、予め実験の趣旨および方法を十分に説明し、同意を得て行った。

II. 方法

(i) 研究実施場所

甲南大学理工学部情報システム工学科 13 号館 MRI 室。

(ii) 刺激条件

電気シールド室内の被験者に、ディスク型皮膚電極を用い 3ch 電気刺激装置で電気刺激を行った。2007 年度に採用した、鍼鎮痛で用いる経穴『合谷』と痛覚刺激部位『上唇挙筋』の組合せでは、痛覚刺激部位が脳波導出電極に近いこと、電気刺激時に痛覚刺激が脳波に混入するといった問題があり、早期性分の観察が困難であった。そこで、別の鎮痛刺激経穴候補を洗い出し、鎮痛効果を調査し、最も効果のあった経穴および痛覚刺激部位（鎮痛作用部位）を採用した。

(iii) 計測条件

鎮痛刺激経穴と鎮痛作用部位に、経皮的電気刺激を行い、刺激強度を感覚閾値から痛覚許容値の間で強度を変えて、自覚的検査を行い、感覚閾値、筋単収縮強度、痛覚域値、痛覚許容値を計測した。

電気生理学的実験で、自覚的検査により得られた最適鎮痛経穴-作用部位に対する刺激により、全頭皮上から脳電位を計測した。電気活動の計測はデジタル脳波計を用いて行った。

(iv) 解析・結果

電気生理学的実験では、MRI および脳波解析システム（多チャンネル脳波計、脳内等価電流双極子推定ソフトウェア、誘発電位研究用プログラム）を用いて解析を行った。脳波解析システムを用いて、鎮痛条件、非鎮痛条件で、痛覚刺激時の脳電位の発生源を推定し MR 画像とマッピングし比較検討した。これにより、鍼鎮痛の作用機序を研究するのに適した『経穴-鎮痛作用部位』を見出すとともに、2007 年度に観察した鎮痛作用に由来すると考えられる脳活動に類似した脳活動を観察した。これにより、当該脳活動が、経穴刺激による鎮痛作用由来の脳活動である可能性を改めて確認できた。

「バルク敏感光電子分光による 1 次元構造を持つホーランダイト型バナジウム酸化物に見られる金属絶縁体転移の起源解明」

No.105 研究幹事 山崎 篤志（理工学部）

[序論]

これまで我々は、最近になって合成に成功した新物質であるホーランダイト型バナジウム酸化物に注目して、この物質の特性を硬X線光電子分光という実験手法を用いて調べてきた [総合研究所報47号参照] .

ホーランダイト型バナジウム酸化物 $K_2V_8O_{16}$ は、最近純良単結晶の合成に成功し、温度 $T=170K$ において正方晶から斜方晶への構造相転移を伴う金属絶縁体(MI)転移が観測されている物質である。一方、カチオンであるカリウム(K)をルビジウム(Rb)に置き換えた場合、転移温度は230Kに上昇する。しかし、これらの物質に見られるMI転移のメカニズムは未だ明らかになっていない。このようなホーランダイト型バナジウム酸化物に対して、詳細な電子構造を明らかにすることは、MI転移のメカニズムを解明する上で重要であるばかりでなく、バナジウム系酸化物全般の系統的な物性の理解に重要であると考えられ、学術的に意義深い。また、MI転移温度や電子構造を適当なカチオン種を選ぶことによりコントロールできれば、微小電流により制御可能な温度センサーの材料となるなど工業的な応用に興味を持たれる。

ホーランダイト型バナジウム酸化物の特異な物性を司っているものは、構成元素であるバナジウム(V)が持つ1個もしくは2個の3d電子であると考えられる。d電子の個数はVイオン価数により変化し、 $K_2V_8O_{16}$ では3.75価、すなわちd電子1個を持つV原子とd電子2個を持つV原子の比が3:1となるように結晶中に存在している。3d電子は原子の最外殻を形成する電子であり、自由原子の場合には原子核に束縛されて局在しているが、結晶中においては周囲の環境により遍歴性を示す場合もある。5つあるd電子の軌道はV原子を取り囲むO原子の作る結晶電場により、エネ

ルギーの低い3重に縮退した軌道 (t_{2g} 軌道) とエネルギーの高い2重に縮退した軌道 (e_g 軌道) に分裂する。ホーランダイト型バナジウム酸化物では、この3つの t_{2g} 軌道にd電子が収容されている。これらの軌道の占有状態の詳細を明らかにすることは、ホーランダイト型バナジウム酸化物が示す特異な物性を理解する上で極めて有効であると考えられる。

[目的]

今回、我々はホーランダイト型バナジウム酸化物のV3d電子の軌道占有状態に関する知見を得ることを目的として、大型放射光施設SPring-8(兵庫県佐用郡)において軟X線光吸収分光(X-ray Absorption Spectroscopy : XAS) および光電子分光(Photoemission Spectroscopy : PES)の偏光依存性実験を実施した。

[実験方法と実験結果]

XASとはX線(今の場合には、エネルギーが500eV程度の軟X線と呼ばれる領域の光)を物質に照射したときに構成元素の種類に依存して特定のエネルギーの光が吸収される現象を利用した分光実験である。ホーランダイト型バナジウム酸化物に対しては、V2p-3d XASおよびO1s-2p XASスペクトルの測定を行った。これは、V2p内殻準位から非占有3d状態およびO1s内殻準位から非占有2p状態への電子の遷移を見ていることになり、電子の非占有軌道の状態に関する知見などを得ることが出来る。一方、軟X線を用いたPES実験は先に行った硬X線光電子分光と同様に光電効果を利用した分光実験であり、電子の占有軌道の状態を調べることが出来る。これらの分光実験について、用いる軟X線の偏光を試料に対して垂直と水平に変えて、両者の違いを調べた。

実験では、 $K_2V_8O_{16}$ においてXASとPESスペクトルともに高温金属相において明瞭な偏光依存性を観測した。また、低温絶縁体相においてはXASスペクトルにのみ偏光依存性が観測された。高温金属相と低温絶縁体相でのスペクトルの振る舞いの差異はホーランダイト型バナジウム酸化物における金属絶縁体転移に伴う急激な電子状態の変化を直接示しており、今後これらを解析していくことでこの物質系の金属絶縁体転移における種々の知見が得られるものと期待される。

[今後の研究方針]

今後、得られた実験結果を詳細に解析し、ホーランダイト型バナジウム酸化物の電子状態を明らかにすると共に、金属絶縁体転移の起源に関する考察を行う。また、これらの研究結果については、日本物理学会および強相関電子系国際会議等で発表すると共に投稿論文としてまとめる予定である。

なお、本研究における放射光利用実験は財団法人高輝度光科学研究センターの承認(承認番号2008A1421および2008B1149)を得て、SPring-8のBL27SUにおいて実施されました。

以上